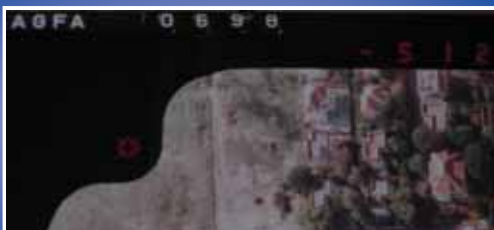


Nuovi sensori digitali per aerofotogrammetria classica

Camere digitali a confronto in assenza di specifiche normative

di Renzo Carlucci



E' circolata la voce di una recente decisione di AGFA di sospendere la produzione di pellicola per camere aerofotogrammetriche: quei grandi rulli lunghi decine di metri e larghi 24 cm, che costituiscono da quasi un secolo la base del rilievo cartografico. Le imprese aerofotogrammetriche che dispongono ancora di camere aeree con supporto sensibile su pellicola, dovranno nell'immediato futuro adeguarsi. E' un profondo cambiamento che coinvolge da tempo settori ben più ampi, legati all'intero mercato della fotografia, travolti dal *trauma* del passaggio ai sensori digitali. Forse la questione non è così imminente come sembra, in quanto Agfa stessa assicura che continuerà la produzione per assistere la transizione ma il sintomo del declino dell'epoca della pellicola è ormai una realtà consolidata. Il problema ha inoltre una portata rilevante per la mancanza di specifiche e normative su tali nuove tecnologie che consentano di effettuare collaudi certificando la qualità del dato in uscita.

In questa situazione risulta difficile comprendere come si possa richiedere un volo aerofotogrammetrico digitale e collaudarlo con le consuete raccomandazioni in uso da tempo. L'epoca d'oro dell'aerofotogrammetria è ormai lontana, ciò nonostante non si cessa di dettare condizioni e specifiche sicure che mettano al riparo dagli imprevisti del cambio tecnologico. Basti pensare che in alcuni settori si prescrive l'uso del restitutore analitico e non è ammesso l'uso del digitale. Figuriamoci se in tali situazioni sarà accettata una camera digitale senza che siano

dettate specifiche di collaudi, certificate da un'autorità competente che purtroppo al momento in Italia è soppressa. Quali possono essere le condizioni di *calibrazione* certificabili? La soluzione più ovvia sembra quella dei *tests fields*, campi segnalizzati a terra da utilizzarsi per tests di calibrazione. Certo siamo lontani dalla semplicità del *certificato di calibrazione almeno biennale* richiesto in precedenza.

Sebbene attualmente almeno cinque case costruttrici producano camere digitali, in Italia sono attualmente operative la camera DMC della Z/I (Zeiss / Intergraph) e la ADS40 della

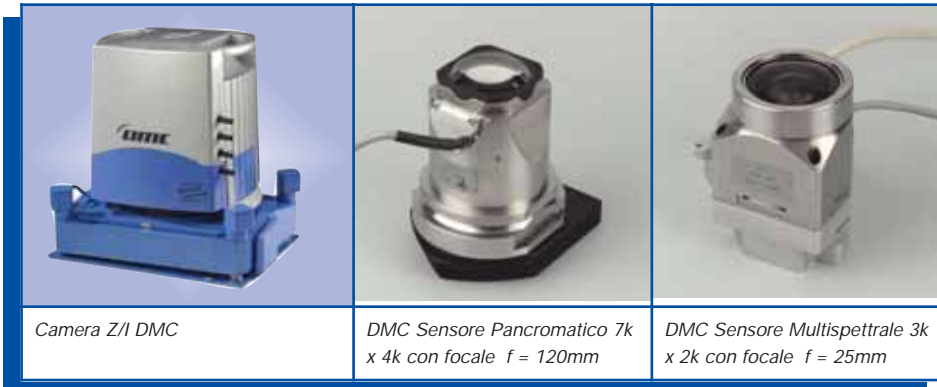
Leica. Le altre camere prodotte quali la Vexcel (recentemente acquisita da Microsoft), la Ultracam e la HRSC, non hanno una larga diffusione sul nostro territorio. Ci soffermeremo pertanto ad esaminare le caratteristiche delle prime due camere, che presentano caratteristiche molto diverse tra loro avendo l'una tentato il raccordo con la tradizione (adottando un *fotogramma derivato* in proiezione centrale di dimensione paragonabile al 23x23cm del classico fotogramma aereo), l'altra invece tentando un salto oltre la tradizione per abbracciare le tecniche dei sensori satellitari *push broom*.



Camera HRSC-A per aerofotogrammetria



HRSC-A Line sensor prodotto da DLR per la Mars96 mission successivamente adattato per applicazioni aeree



Camera Z/I DMC

DMC Sensore Pancromatico 7k x 4k con focale $f = 120\text{mm}$

DMC Sensore Multispettrale 3k x 2k con focale $f = 25\text{mm}$

I dati sono acquisiti in modo profondamente diverso e quasi in completa contrapposizione di filosofia. Quella che fornisce il digitale paragonabile alla classica scansione di una pellicola aerea, la DMC Z/I, usa ben 8 obiettivi che contribuiscono parzialmente a dare sezioni di scansione riassembleate sul piano della proiezione centrale di un sensore 23x23cm tramite trasformazioni software. Quella che invece abbandona

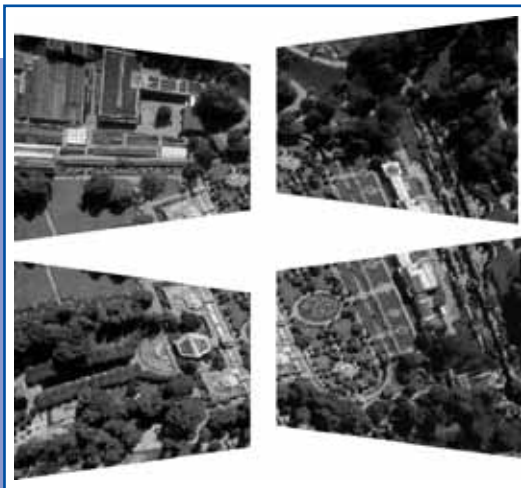
l'idea della prospettiva centrale sul piano fotografico della lastra per passare ad una linea di scansione lineare adotta un unico grande obiettivo.

Ci sarebbe sembrato più logico il contrario, un grande obiettivo per un grande sensore CCD e una serie di obiettivi per sistemi a scansione lineare. Ma la realtà spesso è contraria all'evidenza della tradizione ed è proprio questo fatto che dà un

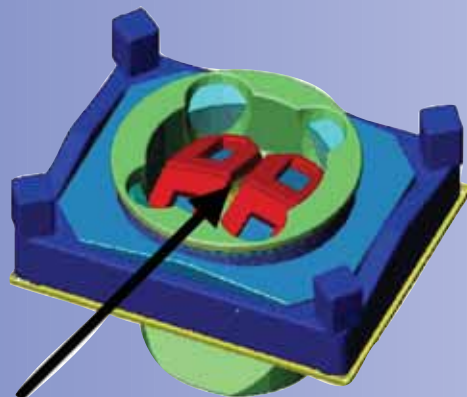
interessante contributo alla ricerca scientifica e all'innovazione: il superamento dell'ovvio consolidato.

La camera DMC di Z/I

Esaminando da vicino le caratteristiche dei due sistemi, si capisce quanto ampio sia stato lo sforzo dei progettisti per arrivare a dare un prodotto valido in funzione degli assunti di partenza e dell'aderenza alle esigenze del mercato riscontrate. In questo la Z/I ha cercato forse la risposta più aderente a quel mercato di aziende produttrici di servizi che avranno sicuramente difficoltà nel passaggio. Con un sofisticato sistema software il prodotto finale della DMS è una *prospettiva centrale* che emula perfettamente un fotogramma tradizionale.

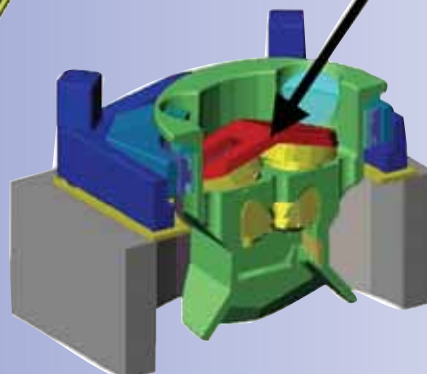


Ricostruzione della immagine in proiezione centrale dai 4 sensori nella DMC tratto da: Jeff Lower and Jeremy Conner, Photogrammetric Mapping With the Z/I Digital Mapping Camera (DMC), 3001 Inc.



4 camere pancromatiche ad alta risoluzione

4 camere multispettrali



Disposizione degli 8 sensori nella camera Z/I DNC

Z/I DMC – Tabella caratteristiche

Field of view	69.3° x 42°
Panchromatic	13.824 x 7.680 pixel
4 optics	$f = 1:4.0 / 120\text{mm}$
Multi spectral	2.048 x 3.072 pixel
4 channels	RGB & NIR
4 optics	$f = 1:4.0 / 25\text{mm}$
Shutter, aperture	variable
Flight data storage	840 GB => 2.200 images
Frame rate	2 sec / image
Radiometric resolution	12 bit
Peso (camera solamente)	< 80 kg

In questo modo la continuità di produzione con i restitutori attualmente in produzione viene assicurato.

La DMC di Z/I dal punto di vista costruttivo è molto semplice: ha 4 obiettivi centrali a bassa risoluzione ($3k \times 2k$) per le 4 componenti R, G, B e NI (near infrared), dispone inoltre di altri 4 obiettivi, ad alta risoluzione ($7k \times 4k$), per il Pancromatico. In un solo scatto si hanno quindi 3 prodotti: Colore, B/N e Infrarosso.

Una conquista particolare se si pensa che fino a poco tempo fa bisognava avere 3 supporti e quindi 3 scatti diversi, spesso realizzabili solo con voli ripetuti. Il prodotto finale, il fotogramma digitale, non è direttamente rilevato sul piano di proiezione ottico, deriva invece dalla trasformazione di più scansioni sui vari sensori che sono orientati su piani diversi. Il fotogramma digitale non è pertanto una diretta derivazione ottico-proiettiva in quanto subisce un ulteriore passaggio intermedio, che comporta riproiezione del pixel.

La camera ADS40 di Leica

In questo caso lo sforzo dei progettisti è stato orientato nella direzione di trasportare qui sulla Terra uno dei sensori che sono ospitati all'interno dei satelliti aerospaziali. Qui sulla Terra per modo dire, visto che comunque si tratta di un sensore aviotrasportato.

Il cuore della ADS40 nasconde conquiste tecnologiche ampiamente

sperimentate sui sensori del telerilevamento, ed è proprio questa caratteristica che individua la vocazione principale di questa camera che fornisce dati per aerofotogrammetria con avanzate caratteristiche atte all'utilizzo tipico del settore del telerilevamento.

Un sensore scanner a linea acquisisce continuamente, attraverso una sola ottica di alto livello, l'immagine nadiralmente, avanti e indietro contemporaneamente, avendo quindi al termine 3 viste diverse dello stesso oggetto. E' una vera novità che consente di avere stereoscopie simultanee che permettono di superare il problema della deformazione prospettica della proiezione centrale, come ad esempio nel caso di edifici, che inibisce sulle camere tradizionali la visione a terra della base dell'edificio.

Non solo, con opportuni software è

possibile vedere i vari lati disponibili degli edifici dalla ripresa aerea.

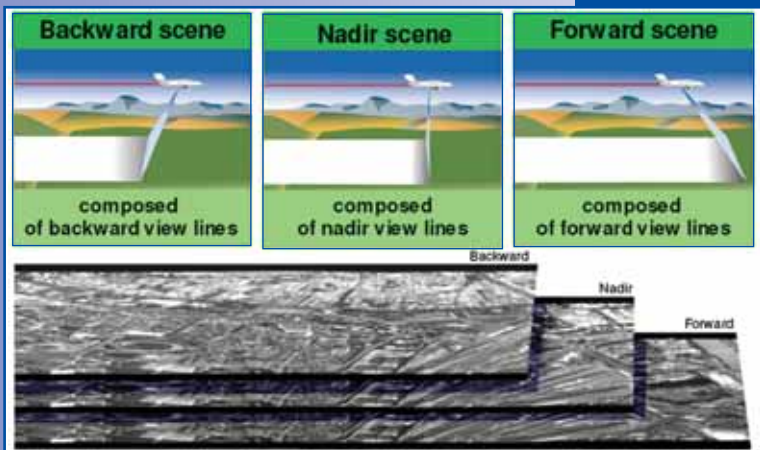
Ovviamente l'innovazione in questo caso è forte e poca compatibilità abbiamo con i sistemi di restituzione digitali attualmente in produzione. Ad oggi, in pratica, solo con i sistemi Leica LPS e Menci Software ZMAP è possibile restituire questo tipo di immagini, che si presentano all'utente non come singoli fotogrammi, ma come lunghe strisciate larghe 12.000 pixels (su 12 CCD nella camera di seconda generazione) e lunghe n righe, tante quante quelle necessarie a coprire tutta la zona di ripresa.

La dimensione del pixel è 6,5 micron.

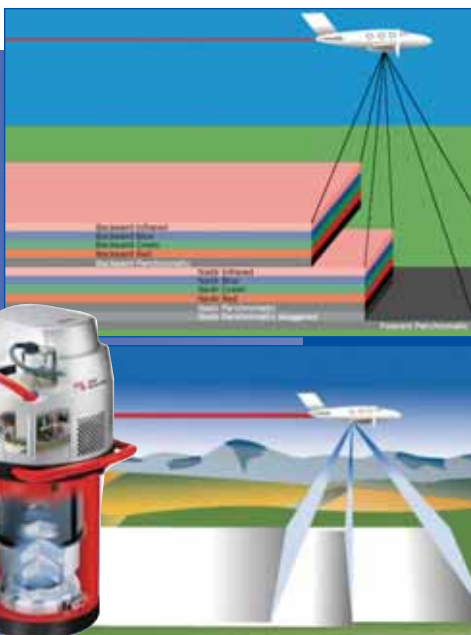
L'acquisizione dei dati originali dal sensore si riduce a pixels che assolutamente devono essere georiferiti nello spazio prima di ottenere una immagine geometricamente utilizzabile.

Leica ADS40 2nd generation – Tabella caratteristiche

Field of view	64°
One 4-band beamsplitter in nadir	8 CCD lines con 12000 pixels ciascuna, pixel size 6.5 µm
Two 4-band beamsplitters one in Nadir and one in 16° BW	12 CCD lines con 12000 pixels ciascuna, pixel size 6.5 µm
Optics	f = 1:4.0 / 62mm
Resolution	130 lp/mm
Flight data storage	0.9 TB HD fino a 14 ore in ADS40 data format a Intervallo 2.5 msec con 3 Pan e 4 Spectral bands
Recording interval per line	1,25 msec
Radiometric resolution	16 bit
Peso (camera solamente)	61 Kg - 65 Kg



Il principio delle tre scansioni simultanee della Leica ADS40



Camera Leica ADS40

Si parla infatti come per i sensori aerospaziali di Level 0 e Level 1, con riferimento ai dati originali (*Raw*) acquisiti senza alcun trattamento e i dati trattati successivamente, portati cioè a livello utente per le successive interpretazioni. Anche qui come nel campo aerospaziale il dato di Level 0 è più utile allo scienziato, allo studioso o comunque a colui che cerca informazioni percepibili al di fuori del normale campo del visibile, mentre il dato Level 1 è quello diretto a colui che deve utilizzare un'immagine tradizionale, comprensibile.

Per questo motivo la ADS40 è completamente dipendente da un sistema di posizionamento inerziale che possa dare ad ogni pixel informazioni relative alla sua posizione nello spazio al momento dell'acquisizione. Un sistema con cuore Applanix è integrato pertanto all'interno della camera e un qualsiasi malfunzionamento dello stesso può portare a dati difficilmente utilizzabili. Ovviamente per malfunzionamento intendiamo non problemi hardware o software, bensì mancata copertura dei satelliti GPS o delle stazioni di riferimento per problemi dovuti alla natura del sistema dipendente da autorità militari statunitensi.

Per quanto riguarda la compensazione del movimento di immagine (FMC, *Forward Motion Compensation*) che nelle vecchie camere ottiche era appositamente realizzata da un dispositivo anti-trascinamento di

immagine (in pratica un elemento meccanico che muove il piano focale nelle direzione del moto dell'aereo al momento di scatto al fine di eliminare qualsiasi effetto di fotogramma *mosso*) in questa camera non è necessario. Infatti la velocità di scansione di una linea, pari a 1.25 msec, e la risoluzione, sono tali che il movimento dell'aereo durante l'acquisizione di una linea di scansione è praticamente irrilevante. Infatti si ha un GSD (*Ground Sampling Distance*, dimensione della proiezione a terra del pixel) di 7,5 cm per una velocità fino a 120 knt e un GSD fino a 15 cm per una velocità max di 240 knt. La camera ha una lunghezza focale di 62.77 mm; il FOV (angolo di campo, *Field of View*) nominale è 64°. Le prese backward e forward sono inclinate rispetto alla verticale rispettivamente di 10° e 40°. La risoluzione fotografica è di 130 lp/mm.

Pro e contro

Definire i pro e contro di un sistema o dell'altro è molto difficile in quanto sono due strumenti completamente diversi, che partendo anche da impostazioni lontane, arrivano comunque a dare lo stesso risultato: *materiale ottico-digitale per restituzione stereoscopica aerofotogrammetrica di cartografia*.

Partendo da sensori, entrambi forniscono dunque materiale atto al trattamento con restitutori digitali.

La DMS privilegia la compatibilità con l'esistente, proponendosi quindi come un valido elemento di transizione in questo periodo, dando in uscita una serie di pixel, disposti all'interno di un quadrato di 23x23cm, trasformati come se facessero parte di un'unica proiezione centrale al pari delle vecchie camere fotogrammetriche a pellicola.



DMC: Central Perspective



ADS 40: Line Array

Cortesia di: Manfred Ehlers, Ronald Janowsky and Sascha Klonus FZG - Research Center for Geoinformatics and Remote Sensing University of Osnabrueck, Germany and GIN - Center for Excellence in Geoinformatics

Push Broom Sensor



Sensore CCD push broom

I sensori per telerilevamento usano da tempo i Push Broom Sensor, scanner a linee trasversali alla direzione del movimento aereo successivamente riassemblate per formare l'immagine definitiva. L'interesse principale di tale sistema è dovuto alla possibilità di avere più linee di scansione su canali spettrali multipli. Nel settore aereo il sistema si è dapprima evoluto per avere moltissimi canali spettrali multipli come per il sensore CASI della Itres, ma senza alcuna preoccupazione per l'accuratezza geometrica dell'immagine. Nel settore spaziale questo sistema si è trasformato nel metodo preferito di formazione di immagini nelle osservazioni terrestri, in quanto un percorso orbitale è sufficientemente stabile da permettere che l'immagine risultante abbia una buona esattezza geometrica. Derenyi nel 1970 enunciò per primo che sarebbe stato possibile raccogliere tre o più linee di scansione simultaneamente al fine di ottenere una soluzione geometrica forte per il percorso di volo, illustrando come sarebbe stato possibile ricostruire il *flight path* da una serie tripla di scansioni considerandole come se fossero state riprese da una camera normale e quindi procedendo tramite triangolazione aerea. Goetz nel 1980 espanse questa idea per proporre un satellite stereo, la cui missione, denominata Stereosat, non ha mai passato la fase di studio iniziale. Il *German Aerospace Center DLR* ha sviluppato una serie di sistemi basati su questo approccio, tuttavia nati da un'esecuzione originalmente proposta da Hofmann e descritta da Hofmann e da Mueller nel 1988. Camere atte a produrre immagini multiple allineate per osservare in avanti, verso il basso ed indietro, sono state costruite per la missione terrestre MOMS nel 1996 e per esplorazione di Marte sempre nel 1996 con la camera denominata *High Resolution Stereo Camera HRSC* che attualmente sta acquisendo stereogrammi su Marte. Questa è attualmente commercializzata da ISTAR in Francia sotto un accordo con il DLR. Per ultimo uno sviluppo del prodotto a scopi aerofotogrammetrici è stato intrapreso da Leica Geosystems, anche sotto un accordo con il DLR, che ha portato alla prima introduzione sul mercato della camera ADS40 nel 2000. Un sensore a *striscie multiple* è quindi oggi una realtà, approfittando del fatto che a scopi geometrici la geometria *forward-downward-backward* descritta da Derenyi (1970) e Konecny (1970) da risultati di accuratezza fotogrammetrica.

	Comparison of Aerial Cameras				Comparison of Area coverage, and accuracy						
Camera Type	Individual camera parameters				Normalized to pixel of 10 um & 10 cm GSD						
					(normalized photo scale 1:10.000)						
					Area Coverage		Accuracy				
	Array (Pixels)	Pixels size um	Focal length	GSD@ 1000m mm	n.focal length mm	Area sqkm	h/b ratio	x,y cm	height (points) cm	height (terrain) cm	
ADS40	12.000x1	6.5	62.5	10.4	96	1.44	1.26	20	12.6	24.2	
DMC (Pan)	13824x7680	12	120	10	100	1.06	3.3	20	33	66	

Comparazione caratteristiche Z/ DMC e Leica ADS40

Per questo un operatore alla restituzione non noterà differenza alcuna con un fotogramma originato da pellicola e acquisito da scanner fotogrammetrico. Inoltre anche senza sistema di posizionamento inerziale Applanix i *fotogrammi* digitali saranno utilizzabili con il tradizionale appoggio topografico per successiva triangolazione aerea. Il GCP è di circa 10 cm a 1000 metri di quota consentendo una base di presa tale da garantire il rapporto $h/b=3,3$ per una accuratezza di determinazione classica necessaria alle precisioni richieste in determinazioni cartografiche. Una diversa risoluzione tra Colore, Falso Colore (Near Infrared) e Pancromatico fa sì che però i pixel abbiano diverse dimensioni e quindi accuratezza diversa tra le bande iperspettrali fuse tramite *pan-sharpening*, elaborazione di interpolazione pixel via software, per ottenere l'immagine finale.

La ADS40 privilegia invece la risoluzione omogenea di acquisizione per tutte le bande spettrali fornendo quindi un pixel non interpolato che però di contro necessita di una elaborazione (e quindi deformazione) successiva per il riferimento spaziale dato dal sistema di posizionamento inerziale.

Una *failure* del sistema GPS rende inutilizzabile il dato acquisito.

Il GCP è pari a circa 10 cm per una quota di volo di 1000 metri e la base di

presa, riconducibile dalle 3 prese contemporanee, raggiunge di fatto rapporti $h/b=1,26$, valori di tutto rispetto per la precisione e la acutezza stereoscopica cartografica. Inoltre con una sola strisciata sono disponibili più viste dell'oggetto (nadir, prospettiva anteriore e prospettiva posteriore) utilissime per la restituzione corretta dell'edificato urbano. La restituzione, in termini classici, è però attualmente disponibile solo su sistema Leica LPS e Menci Software ZMAP, forse in futuro anche altri produttori inseriranno tra i formati utilizzabili quello della ADS40.

Specifiche normative

La situazione delle specifiche per l'accettazione e la validazione dei prodotti delle camere aeree digitali è molto particolare. In questo momento non si hanno criteri di accettazione validi ai fini del collaudo dei dati acquisiti ma nel contempo abbiamo già più camere operative sul territorio nazionale.

Nuove camere e diversi approcci appaiono continuamente mentre non ci sono parametri e concezioni universalmente accettate come pure non sono state definite procedure ufficiali e certificate per l'assicurazione e il controllo della qualità e della effettiva calibrazione degli strumenti.

Tests empirici e validazione dei prodotti finali sono realizzati da:

- produttori dei sistemi
- organizzazioni scientifiche o indipendenti quali l'USGS, la FGI o l'EuroSDR, che stanno realizzando raccomandazioni e sviluppo di procedure largamente accettate per la calibrazione, generalmente basate su tests sperimentali con gruppi di utenti.
- potenziali clienti

Gli Standards utilizzabili al momento sono:

- *ISO standard 19130 Sensor and data models for imagery and gridded data* (in corso di sviluppo a livello internazionale)
- *DIN standard 18740 Photogrammetric Products – Part 4: Requirements for digital airborne sensors and images* (in corso di sviluppo in Germania)

Particolarmente attivo è l'EuroSDR (conosciuto anche come OEEPE) network *Digital Camera Calibration* che in questo momento sta lavorando alla realizzazione di Raccomandazioni per la calibrazione di camere digitali tramite tests sperimentali condotti con il network descritto nella tabella di fondo.

Punto di contatto per l'EuroSDR è Michael Cramer (*michael.cramer@ifp.uni-stuttgart.de*) dell'*Institut für Photogrammetrie Universität Stuttgart*.

Gruppo	Istituzioni
Produttori di camere	ADS, DIMAC, DMC, DSS, UltracamD, Starimager, 3-DAS-1, DigiCAM
Sviluppatori di software	BLUH, ORIMA, inpho, dgap
Altre imprese	Vito, ISTAR, Geosys, OMC, CSIRO, Itacyl
Enti scientifici	ETH, OSU, Glasgow, Stuttgart (U and HFT), IdeG, Rostock, DLR, Berlin, Nottingham, Aas, Pavia, Anhalt, Leon
Agenzie cartografiche nazionali	ICC, USGS, OrdSurv, IGN, FGI, NLH, Swedish LandSurvey, Swisstopo, BEV, Inst. Cart. Valenciano

Gruppo di enti, produttori, operatori e agenzie che partecipano al network EuroSDR

L'Italia non è assente in tale network, e sono in corso iniziative di ricerca universitaria locale (Torino, coordinamento prof. S. Dequal) che hanno in programma la *realizzazione di capitolati e specifiche tecniche per l'utilizzo di immagini digitali ad alta risoluzione geometrica acquisite da piattaforma aerea e satellitare per la costituzione e/o l'aggiornamento di*

cartografia di base. Tale programma biennale è realizzato con finanziamento del MIUR nell'ambito dei PRIN - Programmi di ricerca di Rilevante Interesse Nazionale.

Nel frattempo l'USGS statunitense sta avviando due vie di certificazione della qualità, una basata sulla certificazione del produttore, l'altra basata su una certificazione

dell'impresa aerofotogrammetrica produttrice del dato con sensore digitale. Se fosse adottata quest'ultima soluzione le imprese se ne avvantaggerebbero di certo eliminando la fastidiosa necessità di rinviare ogni due anni la camera al costruttore per la verifica di calibrazione.

Nota curiosa sul Gergo Leica

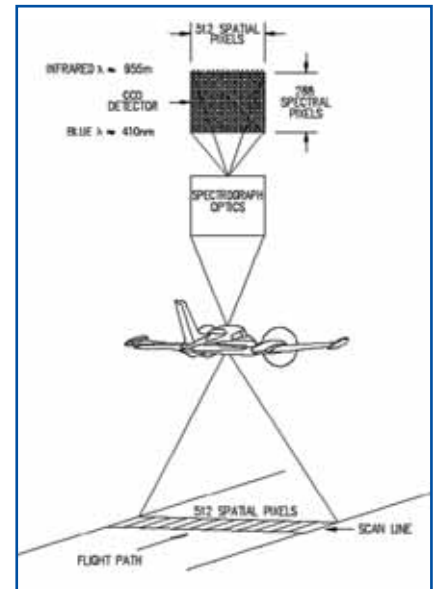
Nel recente convegno ASITA 2006 tenutosi dal 14 al 17 Novembre a Bolzano abbiamo assistito ad una curiosa definizione del termine *Level 0* per i dati *raw* acquisiti dalla camera ADS40, riducendolo nell'ambito del *gergo Leica*. L'autore di tale definizione avrebbe fatto bene a sincerarsi, prima di etichettare in tal modo il Level 0, per riferire ai numerosi ascoltatori, dell'esistenza di standards acclarati ed in uso dal mondo scientifico internazionale. Possiamo quindi assicurare ai lettori che Leica non ha usato un suo gergo, ma una ben nota nomenclatura scientifica.

Lo *Hierarchical Data Format (HDF)* è un *multi-object file format* per l'archiviazione e il trasferimento di dati scientifici. HDF è universalmente usato per la gestione dei dati scientifici ed è stato selezionato come il *formato standard per i dati prodotti dai sistemi Earth Observing System (EOS) dalla NASA*.

HDF standard NASA definition table

Product	Definition
Level 0	Raw "sensor format" data at original resolution
Level 1a	Level 0 data reformatted to image files with ancillary files appended
Level 1b	Level 1a data to which radiometric calibration algorithms have been applied, to produce radiance or irradiance, and to which location and navigational information has been appended.
Level 2	Geophysical or environmental parameters derived from Level 1a or 1b data, may include atmospheric correction.
Level 3a	Level 1b or 2 data mapped to a geographic co-ordinate system using on-board attitude and positional information only.
Level 3b	Level 1b or 2 data mapped to a geographic co-ordinate system using on-board attitude and positional information with additional ground control points.
Level 4	Multi-temporal/multi-sensor gridded data products.

Tali definizioni elaborate dalla NASA nascono per fornire una struttura standard per l'elaborazione dei dati. La tabella mostra gli elementi di una catena completa di elaborazione dei dati che parte dai dati grezzi acquisiti da un sensore (Livello 0), con una successiva serie di fasi di lavorazione standard. Queste fasi successive includono l'elaborazione dei dati calibrati radiometricamente (Livello 1b), riferibile ad uno standard nazionale ed ai prodotti geofisici o ambientali derivabili (Livello 2), che possono includere l'applicazione di una correzione atmosferica. Infine una rettifica geometrica relazionata a un sistema di riferimento georeferenziato o una proiezione cartografica possono essere applicate utilizzando un sistema di posizionamento o di determinazione di assetto da solo (Livello 3a) o essere meglio riferita tramite punti di controllo sul terreno (GCP) prestabiliti dall'utente (livello 3b). L'insieme di dati registrati nello spazio, che contengono anche le bande originali di scansione del sensore o, più generalmente, un certo prodotto derivato di dati (ad esempio distribuzione della clorofilla dell'oceano, o temperatura in superficie, ecc.) può allora essere unito con altre informazioni georiferite spazialmente per dare origine al Level 4.



Schema del CASI2 Push Broom sensor

Bibliografia

- Derenyi, E.E.(1970) *Relative Orientation of Continuous Strip Photography*, Dissertation, Univ. of New Brunswick, Canada.
- The Mars96 Mission — HRSC High Resolution Stereo Camera*. [http://solarsystem.dlr.de/Missions/express/Konecny G. \(1970\) Metric Problems in Remote Sensing. International Inst. for Geoinformation Sciences and Earth Observation, Publ. Series A, No. 50, Delft, The Netherlands](http://solarsystem.dlr.de/Missions/express/Konecny G. (1970) Metric Problems in Remote Sensing. International Inst. for Geoinformation Sciences and Earth Observation, Publ. Series A, No. 50, Delft, The Netherlands)
- Hofmann O., F. Müller (1988) *Combined Point Determination Using Digital Data Of Three Line Scanner Systems*. Int. Arch. Photogramm. and Rem. Sens., Vol. 27 (1988) Part B11, S.III/567-III/577.
- Franz W. Leberl, Roland Perko (2002), *Novel Concepts for Aerial Digital Cameras*, ISPRS Commission I Symposium Colorado, 2002

Leica Geosystem, *note e materiali sui prodotti*: <http://gi.leica-geosystems.com/LGISub1x2x0.aspx>

Intergraph, *note e materiali sui prodotti*: <http://www.intergraph.com/dmc/default.asp>

Autore

RENZO CARLUCCI
rcarlucchi@aec2000.eu